Pomiary elektryczne i elektroniczne : kwalifikacja EE.05 / Michał Cedro, Daniel Wilczkowski. – Wydanie I. – Warszawa, 2018

Spis treści

Od autorów **15**

1 BHP podczas wykonywania pomiarów elektrycznych **17**
1.1 Zagrożenia wynikające z działania prądu elektrycznego na organizm ludzki 17
1.1.1 Wprowadzenie 17
1.1.2 Przyczyny porażeń prądem elektrycznym 17
1.1.3 Czynniki decydujące o stopniu porażenia prądem elektrycznym 18
1.1.4 Skutki przepływu prądu elektrycznego przez organizm człowieka 19
1.1.5 Pośrednie działanie prądu elektrycznego 21
1.1.6 Ćwiczenie 21
1.1.7 Sprawdzenie wiadomości 22
1.2 Zasady BHP podczas wykonywania pomiarów elektrycznych i elektronicznych 22
1.2.1 Wprowadzenie 22
1.2.2 Przepisy BHP 23
1.2.3 Ćwiczenie 24
1.2.4 Sprawdzenie wiadomości 25
1.3 Zasady BHP w zakresie montażu układów elektronicznych 26
1.3.1 Wprowadzenie 26
1.3.2 Przed przystąpieniem do pracy 26
1.3.3 Organizacja stanowiska pracy 27
1.3.4 Wykonywanie montażu urządzeń elektronicznych 28
1.3.5 Ćwiczenie 30
1.3.6 Sprawdzenie wiadomości 30
1.4 Zasady BHP w zakresie wykonywania połączeń w układach elektronicznych 31
1.4.1 Wprowadzenie 31
1.4.2 Wykonywanie połączeń elektrycznych 32
1.4.3 Wykonywanie połączeń mechanicznych 35
1.4.4 Ćwiczenie 37
1.4.5 Sprawdzenie wiadomości 38
1.5 Zasady udzielania pierwszej pomocy porażonym prądem elektrycznym 39
1.5.1 Wprowadzenie 39
1.5.2 Postępowanie podczas ratowania porażonych prądem elektrycznym 39
1.5.3 Ćwiczenie 43
1.5.4 Sprawdzenie wiadomości 44
1.6 Test kontrolny 44

2 Pomiary wielkości elektrycznych **48**
2.1 Technika wykonywania pomiarów 48
2.1.1 Wprowadzenie 48
2.1.2 Podział i rodzaje wykonywanych pomiarów 48
2.1.3 Sposób dokonywania pomiarów 49
2.1.4 Ćwiczenie 52
2.1.5 Sprawdzenie wiadomości 53
2.2 Opracowanie wyników pomiarów 53
2.2.1 Wprowadzenie 53
2.2.2 Notowanie wskazań mierników 54
2.2.3 Opracowanie dokonanych pomiarów 55
2.2.4 Wykresy i prezentacja wyników pomiarów 55
2.2.5 Ćwiczenie 56
2.2.6 Sprawdzenie wiadomości 57
2.3 Narzędzia pomiarowe i ich właściwości 58
2.3.1 Pojęcia ogólne 58
2.3.2 Podział narzędzi pomiarowych 59
2.3.3 Od pomiaru do wyniku 59
2.3.4 Właściwości przyrządów pomiarowych 60
2.3.5 Ćwiczenie 62
2.3.6 Sprawdzenie wiadomości 62
2.4 Rodzaje elektrycznych przyrządów pomiarowych 63
2.4.1 Podział przyrządów pomiarowych 63
2.4.2 Analogowe przyrządy pomiarowe 64
2.4.3 Cyfrowe przyrządy pomiarowe 66
2.4.4 Mierniki cęgowe 67
2.4.5 Ćwiczenie 68
2.4.6 Sprawdzenie wiadomości 68
2.5 Oznaczenia i symbole na miernikach 69
2.5.1 Wprowadzenie 69
2.5.2 Mierniki analogowe 69
2.5.3 Multimetry cyfrowe 70
2.5.4 Ćwiczenie 71
2.5.5 Sprawdzenie wiadomości 72
2.6 Pomocniczy sprzęt pomiarowy 73
2.6.1 Wprowadzenie 73
2.6.2 Transformator 73
2.6.3 Autotransformator 75
2.6.4 Stycznik 75
2.6.5 Rezystor suwakowy 76
2.6.6 Rezystor dekadowy 77
2.6.7 Kondensator dekadowy i indukcyjność dekadowa 78
2.6.8 Przekładnik prądowy 79
2.6.9 Ćwiczenie 80
2.6.10 Sprawdzenie wiadomości 81

2.7 Zakres pomiarowy i klasa dokładności miernika 81
2.7.1 Wprowadzenie 82
2.7.2 Zakres pomiarowy 82
2.7.3 Klasa dokładności 83
2.7.4 Ćwiczenie 83
2.7.5 Sprawdzenie wiadomości 84
2.8 Rozszerzanie zakresu pomiarowego miernika 85
2.8.1 Wiadomości ogólne o miernikach i ich zakresach pomiarowych 85
2.8.2 Rozszerzanie zakresu pomiarowego miernika prądu za pomocą bocznika 85
2.8.3 Rozszerzanie zakresu pomiarowego napięcia za pomocą posobnika 87
2.8.4 Rozszerzanie zakresu pomiarowego za pomocą przekładników 88
2.8.5 Przekładniki napięciowe 88
2.8.6 Przekładniki prądowe 89
2.8.7 Ćwiczenia 92
2.8.8 Sprawdzenie wiadomości 95
2.9 Włączanie mierników w obwód elektryczny 95
2.9.1 Wprowadzenie 95
2.9.2 Włączanie woltomierza w obwód 96
2.9.3 Włączanie amperomierza w obwód 97
2.9.4 Włączanie omomierza w obwód 97
2.9.5 Włączanie watomierza w obwód 98
2.9.6 Włączanie miernika częstotliwości w obwód 100
2.9.7 Włączanie fazomierza w obwód 101
2.9.8 Włączanie licznika energii elektrycznej w obwód 101
2.9.9 Ćwiczenie 104
2.9.10 Sprawdzenie wiadomości 104
2.10 Szacowanie wartości wielkości mierzonej 105
2.10.1 Wprowadzenie 105
2.10.2 Szacowanie wartości prądu i napięcia 106
2.10.3 Szacowanie wartości mocy 111
2.10.4 Ćwiczenie 113
2.10.5 Sprawdzenie wiadomości 113
2.11 Obliczanie wartości wielkości mierzonej na podstawie wskazań miernika 116
2.11.1 Wprowadzenie 116
2.11.2 Stała miernika i wynik pomiaru 116
2.11.3 Ćwiczenie 117
2.11.4 Sprawdzenie wiadomości 118
2.12 Odczytywanie wskazań miernika cyfrowego 118
2.12.1 Wprowadzenie 118
2.12.2 Budowa mierników cyfrowych 119
2.12.3 Zasada działania mierników cyfrowych 119
2.12.4 Opis funkcjonalny mierników cyfrowych 120
2.12.4.1 Opis funkcji pomiarowych 120
2.12.4.2 Odczytywanie wskazań mierników cyfrowych 122

2.12.5 Ćwiczenie 123
2.12.6 Sprawdzenie wiadomości 124
2.13 Dokładność pomiaru 125
2.13.1 Wprowadzenie 125
2.13.2 Błąd bezwzględny i poprawka 125
2.13.3 Błąd względny 126
2.13.4 Błąd graniczny 126
2.13.5 Ćwiczenie 127
2.13.6 Sprawdzenie wiadomości 127
2.14 Błędy i niepewności pomiarowe 128
2.14.1 Wprowadzenie 128
2.14.2 Błędy przyrządów wskazówkowych 128
2.14.3 Wyznaczanie błędów przyrządów cyfrowych 130
2.14.4 Błąd metody 130
2.14.5 Niepewność pomiaru 131
2.14.6 Ćwiczenie 131
2.14.7 Sprawdzenie wiadomości 132
2.15 Bezpośredni pomiar napięcia stałego 132
2.15.1 Wprowadzenie 132
2.15.2 Pomiar napięcia stałego woltomierzem 133
2.15.3 Ćwiczenie 133
2.15.4 Sprawdzenie wiadomości 134
2.16 Pomiary napięcia z zastosowaniem dzielnika napięcia 134
2.16.1 Wprowadzenie 134
2.16.2 Ćwiczenie 135
2.16.3 Sprawdzenie wiadomości 136
2.17 Nastawianie i odczytywanie żądanych wartości napięcia stałego 137
2.17.1 Wprowadzenie 137
2.17.2 Układ jednostopniowy 137
2.17.3 Układ dwustopniowy równoległy 138
2.17.4 Układ dwustopniowy szeregowy 138
2.17.5 Ćwiczenie 139
2.17.6 Sprawdzenie wiadomości 142
2.18 Pomiary bezpośrednie i pośrednie prądu stałego 142
2.18.1 Wprowadzenie 142
2.18.2 Bezpośredni pomiar prądu stałego 143
2.18.3 Pośredni pomiar prądu stałego 143
2.18.4 Ćwiczenie 144
2.18.5 Sprawdzenie wiadomości 145
2.19 Nastawianie i odczytywanie żądanych wartości natężenia prądu stałego 145
2.19.1 Wprowadzenie 146
2.19.2 Układ jednostopniowy 146
2.19.3 Układ dwustopniowy 146
2.19.4 Ćwiczenie 147
2.19.5 Sprawdzenie wiadomości 149

2.20 Badanie źródeł prądu stałego 149
2.20.1 Wprowadzenie 150
2.20.2 Rezystancja wewnętrzna źródła prądu stałego 150
2.20.3 Siła elektromotoryczna źródła prądu stałego 150
2.20.4 Pojemność elektrochemicznego źródła prądu stałego 151
2.20.5 Ćwiczenie 152
2.20.6 Sprawdzenie wiadomości 154
2.21 Badanie układów połączeń rezystorów - wyznaczanie rezystancji zastępczej 155
2.21.1 Wprowadzenie 155
2.21.2 Połączenie szeregowe rezystorów 156
2.21.3 Połączenie równoległe rezystorów 156
2.21.4 Połączenie mieszane rezystorów 157
2.21.5 Ćwiczenie 158
2.21.6 Sprawdzenie wiadomości 160
2.22 Sprawdzenie podstawowych praw elektrotechniki (prawa Ohma i praw Kirchhoffa) 161
2.22.1 Wprowadzenie 161
2.22.2 Prawo Ohma 162
2.22.3 Pierwsze prawo Kirchhoffa 162
2.22.4 Drugie prawo Kirchhoffa 163
2.22.5 Ćwiczenie 164
2.22.6 Sprawdzenie wiadomości 166
2.23 Pomiar rezystancji metodą bezpośrednią 167
2.23.1 Wprowadzenie 167
2.23.2 Omomierz szeregowy 168
2.23.3 Omomierz równoległy 168
2.23.4 Ćwiczenie 169
2.23.5 Sprawdzenie wiadomości 170
2.24 Pomiar rezystancji metodami technicznymi 170
2.24.1 Wprowadzenie 170
2.24.2 Układ poprawnie mierzonego napięcia 171
2.24.3 Układ poprawnie mierzonego prądu 171
2.24.4 Ćwiczenie 172
2.24.5 Sprawdzenie wiadomości 173
2.25 Pomiar rezystancji metodami porównawczymi 174
2.25.1 Wprowadzenie 174
2.25.2 Metoda porównawcza prądowa 174
2.25.3 Metoda porównawcza napięciowa 175
2.25.4 Ćwiczenie 175
2.25.5 Sprawdzenie wiadomości 176
2.26 Pomiar rezystancji metodami mostkowymi 177
2.26.1 Wprowadzenie 177
2.26.2 Mostek Wheatstonea 177
2.26.3 Mostek Thomsona 180
2.26.4 Ćwiczenie 183

2.26.5 Sprawdzenie wiadomości 185
2.27 Pomiar mocy w obwodach prądu stałego 186
2.27.1 Wprowadzenie 186
2.27.2 Bezpośredni pomiar mocy 186
2.27.3 Pomiar pośredni z wykorzystaniem rezystora wzorcowego i woltomierza 188
2.27.4 Ćwiczenie 188
2.27.5 Sprawdzenie wiadomości 190
2.28 Badanie wpływu napięcia na natężenie prądu - wykres I = f(U) elementów liniowych i nieliniowych (warystor i termistor) 190
2.28.1 Wprowadzenie 190
2.28.2 Warystory - elementy nieliniowe 191
2.28.3 Termistory - elementy nieliniowe 193
2.28.4 Ćwiczenie 195
2.28.5 Sprawdzenie wiadomości 200
2.29 Regulacja i pomiar napięcia przemiennego 201
2.29.1 Wprowadzenie 201
2.29.2 Pomiary i zmiana wartości napięć w energetyce 201
2.29.3 Pomiary i zmiana wartości napięć w przemyśle i laboratorium 204
2.29.4 Ćwiczenie 207
2.29.5 Sprawdzenie wiadomości 210
2.30 Regulacja i pomiar prądu przemiennego 211
2.30.1 Wprowadzenie 211
2.30.2 Od czego zależy wartość prądu przemiennego? 212
2.30.3 Pomiar i regulacja prądu przemiennego 214
2.30.4 Ćwiczenie 216
2.30.5 Sprawdzenie wiadomości 220
2.31 Pomiary indukcyjności własnej metodami techniczną, rezonansową i innymi 220
2.31.1 Wprowadzenie 220
2.31.2 Pomiary indukcyjności własnej metodą techniczną 221
2.31.3 Pomiary indukcyjności własnej metodą rezonansową 223
2.31.4 Pomiary indukcyjności własnej metodą bezpośrednią miernikiem RLC 224
2.31.5 Pomiary indukcyjności własnej metodą porównawczą 224
2.31.6 Ćwiczenie 225
2.31.7 Sprawdzenie wiadomości 228
2.32 Pomiary pojemności metodami techniczną, rezonansową i innymi 228
2.32.1 Wprowadzenie 228
2.32.2 Pomiary pojemności metodą techniczną 230
2.32.3 Pomiary pojemności metodą rezonansową 231
2.32.4 Pomiary pojemności metodą bezpośrednią miernikiem RLC 232
2.32.5 Pomiary pojemności metodą porównawczą 232
2.32.6 Ćwiczenie 233
2.32.7 Sprawdzenie wiadomości 235
2.33 Pomiary mocy w obwodach jednofazowych prądu przemiennego 236

2.33.1 Wprowadzenie 236
2.33.2 Prądy, napięcia i moce w obwodach prądu przemiennego 237
2.33.3 Ćwiczenie 240
2.33.4 Sprawdzenie wiadomości 242
2.34 Badanie szeregowego obwodu RLC (rezonans napięć) 243
2.34.1 Wprowadzenie 243
2.34.2 Szeregowy obwód RLC 243
2.34.3 Częstotliwość rezonansowa 244
2.34.4 Zależność napięcia na cewce i kondensatorze od częstotliwości napięcia zasilania 245
2.34.5 Ćwiczenie 246
2.34.6 Sprawdzenie wiadomości 248
2.35 Badanie równoległego obwodu RLC (rezonans prądów) 248
2.35.1 Wprowadzenie 249
2.35.2 Częstotliwość rezonansowa 249
2.35.3 Zależność prądu cewki i kondensatora od częstotliwości napięcia zasilania 250
2.35.4 Rezonans prądów w obwodzie z elementami rzeczywistymi 252
2.35.5 Ćwiczenie 253
2.35.6 Sprawdzenie wiadomości 254
2.36 Badanie obwodów trójfazowych połączonych w gwiazdę i w trójkąt 255
2.36.1 Wprowadzenie 255
2.36.2 Prądy, napięcia i połączenia odbiorników w obwodach trójfazowych prądu przemiennego 257
2.36.2.1 Połączenie obwodu trójfazowego w gwiazdę 257
2.36.2.2 Połączenie obwodu trójfazowego w trójkąt 258
2.36.3 Ćwiczenie 260
2.36.4 Sprawdzenie wiadomości 262
2.37 Pomiary mocy czynnej w obwodach trójfazowych 263
2.37.1 Wprowadzenie 263
2.37.2 Układy pomiaru mocy czynnej stosowane w obwodach trójfazowych prądu przemiennego 264
2.37.3 Ćwiczenie 267
2.37.4 Sprawdzenie wiadomości 270
2.38 Pomiary mocy biernej w obwodach trójfazowych 271
2.38.1 Wprowadzenie 271
2.38.2 Układy pomiaru mocy biernej stosowane w obwodach trójfazowych prądu przemiennego 272
2.38.3 Ćwiczenie 274
2.38.4 Sprawdzenie wiadomości 276
2.39 Pomiary za pomocą oscyloskopu 277
2.39.1 Wprowadzenie 277
2.39.2 Budowa oscyloskopu analogowego 277
2.39.3 Zasada działania oscyloskopu analogowego 278
2.39.4 Obsługa oscyloskopu analogowego 279
2.39.5 Oscyloskopy cyfrowe 280

2.39.6 Podstawowe pomiary oscyloskopem 282
2.39.7 Ćwiczenie 285
2.39.8 Sprawdzenie wiadomości 287
2.40 Testy kontrolne 288
2.40.1 Test kontrolny nr 1 288
2.40.2 Test kontrolny nr 2 291
2.40.3 Test kontrolny nr 3 294
2.40.4 Test kontrolny nr 4 297
2.40.5 Test kontrolny nr 5 300
2.40.6 Test kontrolny nr 6 303

3 Pomiary elementów, układów i urządzeń elektronicznych 307
3.1 Pomiary parametrów diod półprzewodnikowych 307
3.1.1 Wprowadzenie 307
3.1.2 Rodzaje i parametry diod półprzewodnikowych 307
3.1.2.1 Diody prostownicze 309
3.1.2.2 Diody elektroluminescencyjne LED 311
3.1.2.3 Diody Zenera 314
3.1.2.4 Fotodiody 315
3.1.2.5 Inne diody półprzewodnikowe 316
3.1.3 Ćwiczenie 317
3.1.4 Sprawdzenie wiadomości 319
3.2 Pomiary parametrów półprzewodnikowych elementów przełączających 320
3.2.1 Wprowadzenie 320
3.2.2 Rodzaje i parametry półprzewodnikowych elementów przełączających 320
3.2.2.1 Dynistor 321
3.2.2.2 Diak 321
3.2.2.3 Tyrystor 322
3.2.2.4 Triak 324
3.2.3 Ćwiczenie 326
3.2.4 Sprawdzenie wiadomości 330
3.3 Pomiary parametrów elementów optoelektronicznych 330
3.3.1 Wprowadzenie 330
3.3.2 Rodzaje elementów optoelektronicznych i ich parametry 331
3.3.2.1 Fotorezystor 331
3.3.2.2 Fototranzystor 332
3.3.2.3 Fototyrystor 334
3.3.2.4 Transoptor 334
3.3.2.5 Fotoogniwo 336
3.3.3 Ćwiczenie 337
3.3.4 Sprawdzenie wiadomości 342
3.4 Pomiary parametrów tranzystorów bipolarnych i unipolarnych 342
3.4.1 Wprowadzenie 343
3.4.2 Rodzaje tranzystorów i ich parametry 343

3.4.2.1 Tranzystory bipolarne BJT 343
3.4.2.2 Tranzystory polowe (unipolarne) FET 346
3.4.2.3 Tranzystory bipolarne z izolowaną bramką IGBT 349
3.4.3 Ćwiczenie 350
3.4.4 Sprawdzenie wiadomości 356
3.5 Pomiary w układach prostowniczych 356
3.5.1 Wprowadzenie 356
3.5.2 Rodzaje i parametry prostowników 357
3.5.2.1 Prostowniki jednofazowe jedno-i dwupulsowe 357
3.5.2.2 Prostowniki trójfazowe trzy-i sześciopulsowe 359
3.5.2.3 Prostowniki sterowane 362
3.5.3 Ćwiczenie 362
3.5.4 Sprawdzenie wiadomości 363
3.6 Pomiary w układach powielaczy napięcia 364
3.6.1 Wprowadzenie 364
3.6.2 Rodzaje i parametry powielaczy napięcia 365
3.6.2.1 Symetryczny podwajacz napięcia 365
3.6.2.2 Niesymetryczny podwajacz napięcia 365
3.6.2.3 Wielostopniowy powielacz napięcia 366
3.6.3 Ćwiczenie 367
3.6.4 Sprawdzenie wiadomości 369
3.7 Pomiary w układach stabilizatorów 369
3.7.1 Wprowadzenie 369
3.7.2 Rodzaje i parametry stabilizatorów napięcia 370
3.7.2.1 Prosty stabilizator zbudowany na diodzie Zenera 370
3.7.2.2 Stabilizator szeregowy z tranzystorem regulującym 371
3.7.2.3 Stabilizator równoległy 371
3.7.2.4 Stabilizatory impulsowe 372
3.7.2.5 Stabilizatory elektroniczne trójkońcówkowe (monolityczne) 373
3.7.3 Parametry stabilizatorów napięcia 373
3.7.4 Ćwiczenie 374
3.7.5 Sprawdzenie wiadomości 375
3.8 Pomiary w układach kształtujących przebiegi elektryczne 376
3.8.1 Wprowadzenie 376
3.8.2 Podstawowe pojęcia 377
3.8.3 Układy kształtujące przebiegi elektryczne 378
3.8.3.1 Układ całkujący 378
3.8.3.2 Układ różniczkujący 381
3.8.3.3 Układy ograniczające napięcie 382
3.8.4 Ćwiczenie 385
3.8.5 Sprawdzenie wiadomości 387
3.9 Pomiary w układach zasilaczy 388
3.9.1 Wprowadzenie 388
3.9.2 Budowa zasilaczy sieciowych 389
3.9.2.1 Zasilacz impulsowy 389
3.9.2.2 Zasilacz liniowy (tradycyjny) 390

3.9.2.3 Zasilacz bezprzerwowy UPS 391
3.9.3 Parametry zasilaczy 391
3.9.4 Ćwiczenie 392
3.9.5 Sprawdzenie wiadomości 394
3.10 Pomiary w układach wzmacniaczy 395
3.10.1 Wprowadzenie 395
3.10.2 Budowa wzmacniaczy elektronicznych 395
3.10.2.1 Wzmacniacze z tranzystorami bipolarnymi 396
3.10.2.2 Wzmacniacze z tranzystorami unipolarnymi 401
3.10.3 Parametry wzmacniaczy 402
3.10.4 Ćwiczenie 402
3.10.5 Sprawdzenie wiadomości 403
3.11 Pomiary w układach ze wzmacniaczem operacyjnym 404
3.11.1 Wprowadzenie 404
3.11.2 Układy pracy wzmacniaczy operacyjnych 405
3.11.2.1 Wzmacniacz odwracający 405
3.11.2.2 Wzmacniacz nieodwracający 406
3.11.2.3 Wzmacniacz sumujący 407
3.11.2.4 Wzmacniacz odejmujący 408
3.11.2.5 Wtórnik napięcia 409
3.11.3 Parametry wzmacniaczy operacyjnych 410
3.11.4 Ćwiczenie 410
3.11.5 Sprawdzenie wiadomości 411
3.12 Pomiary w układach filtrów częstotliwościowych 411
3.12.1 Wprowadzenie 412
3.12.2 Układy filtrów częstotliwościowych 413
3.12.2.1 Filtr dolnoprzepustowy 413
3.12.2.2 Filtr górnoprzepustowy 414
3.12.3 Filtry aktywne 415
3.12.3.1 Filtry aktywne dolnoprzepustowe 415
3.12.3.2 Filtry aktywne górnoprzepustowe 416
3.12.4 Parametry filtrów częstotliwościowych 416
3.12.5 Ćwiczenie 417
3.12.6 Sprawdzenie wiadomości 418
3.13 Pomiary w układach generatorów 419
3.13.1 Wprowadzenie 419
3.13.2 Układy generatorów 420
3.13.2.1 Generator RC i CR 420
3.13.2.2 Generator LC z dzieloną pojemnością - Colpittsa 421
3.13.2.3 Generator LC z dzieloną indukcyjnością - Hartleya 423
3.13.2.4 Generator LC Meissnera 424
3.13.2.5 Generator przebiegu prostokątnego i trójkątnego 425
3.13.3 Zastosowanie generatorów 426
3.13.4 Parametry generatorów 426
3.13.5 Ćwiczenie 426
3.13.6 Sprawdzenie wiadomości 430

3.14 Badanie bramek logicznych 431
3.14.1 Wprowadzenie 431
3.14.2 Algebra Boole'a 431
3.14.3 Bramki logiczne 433
3.14.4 Ćwiczenie 434
3.14.5 Sprawdzenie wiadomości 438
3.15 Synteza układów kombinacyjnych 438
3.15.1 Wprowadzenie 438
3.15.2 Dwójkowy system zapisu liczb 439
3.15.3 Realizacja układów logicznych na bramkach 440
3.15.4 Minimalizacja funkcji logicznych 441
3.15.5 Ćwiczenie 445
3.15.6 Sprawdzenie wiadomości 445
3.16 Badanie konwerterów kodów 446
3.16.1 Wprowadzenie 446
3.16.2 Kodery 447
3.16.3 Dekodery 448
3.16.4 Ćwiczenie 449
3.16.5 Sprawdzenie wiadomości 451
3.17 Badanie multiplekserów 451
3.17.1 Wprowadzenie 452
3.17.2 Łączenie multiplekserów 452
3.17.3 Realizacja funkcji logicznych 453
3.17.4 Ćwiczenie 454
3.17.5 Sprawdzenie wiadomości 456
3.18 Badanie demultiplekserów 457
3.18.1 Wprowadzenie 457
3.18.2 Łączenie demultiplekserów 458
3.18.3 Ćwiczenie 458
3.18.4 Sprawdzenie wiadomości 460
3.19 Badanie przerzutników 461
3.19.1 Wprowadzenie 461
3.19.2 Najczęściej stosowane przerzutniki 462
3.19.3 Sposoby wyzwalania przerzutników 464
3.19.4 Parametry przerzutników 464
3.19.5 Dwójka licząca 465
3.19.6 Ćwiczenie 465
3.19.7 Sprawdzenie wiadomości 469
3.20 Badanie liczników asynchronicznych 470
3.20.1 Wprowadzenie 470
3.20.2 Budowa liczników asynchronicznych modulo K 470
3.20.3 Liczniki asynchroniczne w technologii scalonej 472
3.20.4 Realizacja liczników mod K na układzie 7490 473
3.20.5 Licznik dwudekadowy na układzie 7490 474
3.20.6 Ćwiczenie 475
3.20.7 Sprawdzenie wiadomości 476

3.21 Badanie liczników synchronicznych 477
3.21.1 Wprowadzenie 477
3.21.2 Zasada działania liczników synchronicznych 477
3.21.3 Liczniki synchroniczne w technologii scalonej 478
3.21.4 Ćwiczenie 479
3.21.5 Sprawdzenie wiadomości 482
3.22 Badanie rejestrów 483
3.22.1 Wprowadzenie 483
3.22.2 Rejestry równoległe 484
3.22.3 Rejestry szeregowe 484
3.22.4 Rejestry scalone 485
3.22.5 Ćwiczenie 487
3.22.6 Sprawdzenie wiadomości 488
3.23 Badanie scalonych układów cyfrowych 489
3.23.1 Wprowadzenie 489
3.23.2 Minialarm domowy 489
3.23.2.1 Tablica prawdy - określenie wartości wyjścia układu w zależności od stanu wejść 489
3.23.2.2 Metoda Karnaugha i jej reguły 491
3.23.2.3 Od wzoru do schematu elektrycznego 492
3.23.3 Ćwiczenie 497
3.23.4 Sprawdzenie wiadomości 498
3.24 Testy kontrolne 499
3.24.1 Test kontrolny nr 1 499
3.24.2 Test kontrolny nr 2 502
3.24.3 Test kontrolny nr 3 506
3.24.4 Test kontrolny nr 4 509

Bibliografia **512**

Źródła ilustracji **513**

Rozwiązania testów kontrolnych **517**

oprac. BPK